# Contribución al manejo sustentable de suelos en zonas semiáridas

**Quiroga A.[1,3], C. Gaggioli[2] , E. Noellemeyer[3]**

**[1] EEA Guillermo Covas. Anguil - Provincia de La Pampa; [2]CONICET; [3]UNLPampa.**

* Autor de contacto: aquiroga@anguil.inta.gov.ar

## Resumen

Según estimaciones de la FAO se espera un incremento de la producción para el 2030 de 49% en áreas de secano. Las amenazas a la sustentabilidad y resiliencia de los ecosistemas semiáridos plantea la necesidad de analizar la realidad física de estos procesos económicos. La desventaja comparativa surge en que los costos sean similares a los de otras regiones, pero a menores retornos (bajas rentabilidades). Se percibe que tales desventajas están acentuando la degradación de los suelos y que es necesario que la complejidad y multidimensión de la sustentabilidad sean simplificadas a través de indicadores a fin de hacerla operativa, sin que ello lleve a un enfoque reduccionista (disciplinario). La complejidad de estas regiones plantea la necesidad de diferenciar manejos por ambientes, dado que frente al mismo indicador de presión los indicadores de estado pueden responder de distinta manera de acuerdo a la granulometría del suelo (efecto de aditividad). Además, para un mismo indicador de presión y en suelos de similar composición granulométrica el indicador de estado puede variar en función del espesor del suelo. Estas situaciones tienen lugar en regiones semiáridas, dado que tanto la granulometría como el espesor de suelo son principales factores condicionantes de la capacidad de retención de agua útil y consecuentemente de la productividad. Resulta clave entonces, desde el punto de vista de la sustentabilidad de los suelos y en orden a elaborar estrategias de manejo conservacionistas, diferenciar ambientes con distinto potencial productivo. Sobre esta base se analizaran distintas prácticas de manejo, tanto en producciones agrícolas como ganaderas de secano.

## Tendencias y complejidad

La demanda mundial de alimentos y energía se incrementa rápidamente y continuará haciéndolo con el crecimiento de la población y del ingreso promedio. Según estimaciones de la FAO se espera un incremento de la producción agrícola para el período 1998-2030 de 49% en áreas de secano y 81% bajo riego (Alí & Talukder, 2008), lo que representa un importante problema para la gestión del suelo y de los recursos hídricos. Las amenazas a la sustentabilidad y resiliencia de los ecosistemas por intensificación de la producción dependen del ambiente, siendo las regiones semiáridas particularmente vulnerables (Pala et al., 2007).

La conservación del suelo solo puede ser efectiva en el marco de una actividad agropecuaria rentable y especialmente en las áreas marginales es muy difícil que los productores lo puedan realizar con sus propios recursos. De esta manera, la sustentabilidad en las regiones semiáridas tiende a ser más un problema social que tecnológico. Si bien la determinación de las estrategias de manejo conservacionistas es un problema científico y tecnológico, la implementación de esas prácticas presenta también problemas económicos, socio-culturales, éticos, legales y políticos. Por ello, la transformación del concepto abstracto de la sustentabilidad a un término operativo es esencial para la planificación a mediano plazo de cualquier actividad (Sarandón, 1998). El

autor señala que uno de los problemas que surgen cuando se intenta evaluar o medir la sustentabilidad, es la confusión respecto a qué es exactamente lo que se quiere evaluar. A su vez, la evaluación de la sustentabilidad se ve dificultada por el enfoque reduccionista que aún prevalece en los agrónomos y muchos científicos, lo que genera grandes dificultades para entender problemas complejos (Sarandón, 1998). Es poco probable percibir claramente los problemas desde el enfoque disciplinario, dada la característica multidimensional de la sustentabilidad.

La región semiárida pampeana no ha sido ajena a la expansión agrícola en los últimos años que se caracterizaron por el aumento de la superficie de cultivos de cosecha, principalmente de verano, y el incremento de la carga ganadera en áreas de pastizales naturales y/o en suelos de menor aptitud agrícola. Además la irregularidad de los fenómenos climáticos, especialmente la variabilidad anual y mensual de las precipitaciones, impone fuertes limitaciones a la productividad de los cultivos (Rockström, 2003; Pala et al., 2007; Fernández et al., 2008). En estas condiciones, generalmente la eficiencia de uso del agua (EUA) y los rendimientos son considerablemente menores en comparación a los de regiones sin limitaciones hídricas. Saadras y Calviño (2001) comprobaron que el déficit hídrico estacional fue el responsable del 90% de la variación en rendimiento de soja, y 76% en maíz.

La desventaja comparativa en regiones semiáridas surge de que los costos de establecimiento de los cultivos sean similares a los de otras regiones, pero a menores retornos, y por ende bajas rentabilidades. Tales desventajas de los productores de commodities puede llevar a la degradación del suelo y una menor EUA (Bossio et al., 2010). Así surge la necesidad de analizar la realidad física de los procesos económicos en estas regiones, principalmente porque la información monetaria sigue siendo la única que se utiliza en forma sistemática para orientar la gestión, olvidando entre otros factores la dimensión física de los procesos productivos (Velazquez, 2010).

## Aspectos del manejo

Las restricciones biofísicas que causan bajos rendimientos en regiones semiáridas pueden ser superadas con un manejo adecuado (Rockström y Falkenmark, 2000). En este sentido, Ritchie y Basso (2008) resaltan la importancia de prácticas de manejo que contribuyan a mejorar la eficiencia de uso del agua. Por ello, las tecnologías de procesos resultan claves en estos ambientes para optimizar la aplicación de tecnologías de insumos, resguardando al mismo tiempo efectos negativos sobre el ambiente y los recursos naturales. Mientras las tecnologías de insumos están asociadas a un desarrollo previo de naturaleza industrial y se pueden entrar y salir de ellas con relativa facilidad, la tecnología de procesos en cambio es intangible y más que un costo económico tiene un costo intelectual, siendo su adopción más dificultosa (Resch, 2003).

En cuanto al efecto del manejo de suelo se sabe que las labranzas conservacionistas, y sobre todo la siembra directa (SD), asociada a un adecuado manejo de residuos, mejoran la infiltración y el almacenaje del agua (Beare et al., 1994; Quiroga et al., 2009), minimizando las pérdidas por evaporación (Blum, 2009). Sin embargo, hay quienes consideran la SD contraproducente por el mayor uso de agroquímicos. Es así, como varías tecnologías, incluso contrapuestas pueden ser promovidas como sustentables, como consecuencia de un enfoque reduccionista (disciplinario) que no permite entender problemas complejos, multidimensionales (Sarandon, 1998). Por ello, uno de los problemas que surgen cuando se intenta evaluar o medir la sustentabilidad es la confusión respecto a qué es lo que se quiere evaluar.

No obstante las dificultades planteadas, existe coincidencia en que la biodisponibilidad de agua es el principal factor condicionante y que las prácticas de manejo en regiones semiáridas se han orientado a mejorar su eficiencia de uso. El correcto manejo de nutrientes aumenta la EUA de los cultivos (Hatfield et al., 1996; Wang et al., 2010), como también lo hace el manejo del barbecho, la cobertura y el control de malezas durante este período (Aboudrare et al., 2006; Fernández et al., 2008).

La correcta elección de cultivos es otra vía para mejorar la productividad de las regiones semiáridas. La situación poco favorable de estos ambientes se agrava sobre todo en la producción de los commodities, debido a que el mejoramiento genético (realizado normalmente en regiones más húmedas) ha producido avances en el potencial de rendimiento, muchas veces a expensas de características morfológicas y fenológicas que aportan resistencia a la sequía (Angadi y Entz, 2002; Zhang et al., 2007).

La rotación de cultivos es otra importante característica de los sistemas de producción sustentables ya que facilita el manejo de malezas, enfermedades y fertilidad del suelo. Además permite estratificar el uso del agua y nutrientes del suelo a través de diferentes profundidades efectiva de raíces y mejorar la EUA de los cultivos (Copeland et al., 1993; Anderson et al. 2002; Moroke et al., 2005). Asimismo la diversificación, en regiones semiáridas, es otra forma de disminuir el riesgo económico (Quiroga et al., 2001; Tanaka et al., 2002). Por lo expuesto, no sorprende que muchos investigadores estén buscando nuevas alternativas de cultivos y rotaciones que sean más eficientes en el uso de agua en regiones de secano (Alvaro-Fuentes et al., 2009; Dordas y Sioulas, 2007; Lenssen et al., 2006; Wright et al., 1995; Kar et al., 2003; Anderson et al., 2002). Sin embargo, en esta búsqueda de eficiencia pueden aparecer nuevas situaciones que abren interrogantes respecto de las consecuencias sobre la sustentabilidad de los suelos. Por ej. la intensificación ganadera que ha implicado el encierre a corral y el “pastoreo mecánico” con la exportación de forraje del lote, permite inferir sobre cambios importantes en el complejo de intercambio, reacción del suelo, dinámica de algunos nutrientes, balance de MO y propiedades físicas asociadas a la misma.

Otro enfoque sobre la productividad de los cultivos y su EUA, es considerar el valor económico de la producción en vez de comparar solamente los rendimientos. Varios autores señalan la necesidad de aumentar la *productividad económica del agua*, definida como el valor recibido por unidad de agua usada ($/mm) (Aldaya et al., 2009; Molden et al., 2009; Ali y Talukder, 2008). Este objetivo puede lograrse ya sea por un incremento en la *productividad física del agua* que lleve a producir más kg de grano/mm como por la producción de cultivos de más elevado valor. Nielsen et al. (2005), compararon diferentes sistemas de producción de las llanuras centrales de EEUU, concluyendo que la intensificación de la producción resulta beneficiosa cuando se tiene en cuenta el valor de los productos. Aplicando esta metodología, Noellemeyer et al. (2010) encontraron que en los sistemas de producción de la región semiárida pampeana, las oleaginosas tienen EUA considerablemente inferiores a las gramíneas, pero cuando se tiene en cuenta su valor de mercado, la EUA incrementa considerablemente.

## Indicadores

Por lo expuesto, para lograr avanzar en cuanto a la sustentabilidad de los suelos y sistemas de producción de regiones semiáridas, es necesario que la complejidad y la multidimensión de la sustentabilidad sean simplificadas a través de indicadores. Las principales funciones de un indicador son evaluar condiciones o tendencias, comparar transversalmente sitios o situaciones, para evaluar metas y objetivos, proveer información preventiva temprana y anticipar condiciones y tendencias futuras.

Cantú et al., (2008) señalan que el antecedente más importante surge de la Organización para el Desarrollo y la Cooperación Económica (1991) cuando publica el SET preliminar de indicadores ambientales y posteriormente (1995) lanza el modelo de Presión, Estado y Respuesta para evaluar y monitorear los proyectos de desarrollo y las condiciones del ambiente a distintas escalas.
Este Modelo parte de una relación de causalidad donde se considera que las actividades humanas ejercen una PRESIÓN sobre el ambiente, cambiando la calidad de los recursos naturales (ESTADO). La información sobre estos cambios enriquece las instancias de toma de decisiones en la sociedad (RESPUESTA).
Teóricamente, sí se puede evaluar cual es la presión de uso al que es sometido cualquier recurso natural y, por otra parte, si ha través de los cambios de estado o calidad del recurso se puede evaluar el efecto de esa presión, es posible establecer la necesidad de regulaciones o el cambio de las mismas si estas ya existieran (Cantú et al., 2008).
Sin embargo se plantea cierta complejidad, dado que frente al mismo indicador de presión los indicadores de estado pueden responder de distinta manera de acuerdo a la granulometría del suelo, comprobándose en algunos casos (MO) efecto de aditividad (Quiroga et al., 2008), situación que limita el uso de indicadores individuales resultando conveniente el uso de indicadores compuestos (Quiroga et al., 2005). Además, para un mismo indicador de presión y en suelos de similar composición granulométrica el indicador de estado puede variar en función del espesor del suelo. Estas situaciones tienen lugar en regiones semiáridas, dado que tanto la granulometría como el espesor de suelo son principales factores condicionantes de la capacidad de retención de agua útil y consecuentemente de la productividad.
Por ello, Cantú et al., (2008) indican que algunos modelos son criticados por sus relaciones causales que resultan muy simplistas y pueden conducir a considerar los sistemas naturales como receptores pasivos, que no presentan mecanismos de autorregulación que permitan equilibrar o compensar los cambios (resiliencia, capacidad buffer).
Resulta clave entonces, desde el punto de vista de la sustentabilidad y en orden a elaborar estrategias de manejo conservacionistas, diferenciar ambientes con distinto potencial productivo.

## Manejo por ambientes

**Reconocer** y **jerarquizar** los factores edáficos que generan variación de rendimiento es el **paso inicial** del manejo por ambientes o sitio-especifico. Es necesario reconocer si un factor es causa principal de variación, o al igual que el rendimiento, es consecuencia de la influencia de otro factor. En una **segunda etapa** es necesario **categorizar** el factor a través de su rango de variación. Es decir establecer categorías para la toma de decisiones.
Por ejemplo, si la diferente capacidad de retención de agua (CRA) de los suelos de un mismo lote condiciona el rendimiento y el efecto acumulado de diferencias de rendimiento condiciona en el tiempo los contenidos de materia orgánica (diferente fertilidad entre sitios), es posible que también encontremos relación entre contenido de N y rendimiento. Esto nos llevaría a fertilizar diferencialmente con N los ambientes. Sin embargo tanto el rinde como N son consecuencia de variaciones en la CRA, con lo cual el ajuste de la fertilidad nitrogenada, en suelos de menor CRA, no produce necesariamente los efectos esperados. Es decir se identificó el factor y se lo jerarquizó, en este caso agua esta antes que N. Pero esto no vasta, es necesario categorizar los niveles de agua disponible estableciendo un valor a partir del cual es más probable la respuesta a la fertilización. Por ejemplo, para verdeos de invierno en el este de La Pampa, es necesario disponer a la

siembra de + 80 mm de agua útil en los primeros 140 cm del perfil para decidir una fertilización nitrogenada.

En orden a evaluar cambios en la calidad de los suelos mediante análisis discriminante ha sido posible identificar propiedades sensibles al manejo que resultan independientes entre sí. De esta manera se definieron variables canónicas (combinaciones lineales de los contenidos de MO jóven, estabilidad estructural en húmedo y susceptibilidad a la compactación) a partir de las cuales fue posible diferenciar suelos influenciados por diferentes prácticas de manejo (Quiroga et al., 1996).

Otras propiedades edáficas fueron más influenciadas por variaciones en la granulometría que por influencia del manejo y por lo tanto su uso, al menos como indicadores individuales, no resultó conveniente. Por ejemplo, para condiciones de la región semiárida pampeana se comprobó que mientras los contenidos de arcilla + limo resultaron principales determinantes de la proporción de agregados >2mm, la materia orgánica condicionó la estabilidad estructural y consecuentemente resultó un indicador más apropiado para evaluar la influencia del manejo. Los niveles críticos de MO total, asociados con un determinado valor de EEH resultaron variables y crecientes en función de los contenidos de arcilla + limo. Estos resultados muestran la importancia de considerar la influencia conjunta de ambos coloides, orgánico y mineral, al seleccionar indicadores edáficos tendientes a evaluar una determinada práctica de manejo.

## Bibliografía


- Aboudrare A., P. Debaeke, A. Bouaziz, H. Chekli. 2006. Effects of soil tillage and fallow management on soil water storage and sunflower production in a semi-arid Mediterranean climate. Agric. Water Manage. 83:183-196.
- Aldaya M., P. Martinez-Santos, M. Llamas. 2009. Incorporating the water footprint and virtual water into policy: reflections from the Mancha Occidental region, Spain. Water Resource Management.doi 10.1007/s11269-009-9480-8.
- Álvaro-Fuentes J., J. Lampurlanés, C. Cantero-Martínez. 2009. Alternative crop rotations under mediterranean no-tillage conditions: biomass, grain yield, and water use efficiency. Agron. J. 101:1227-1233.
- Ali M., M. Talukder. 2008. Increasing water productivity in crop production – A synthesis. Agric. Water Manage. 95:1201-1213.
- Anderson R., D. Tanaka, S. Merrill. 2002. Yield and water use of broadleaf crops in a semiarid climate. Agric. Water Manage. 58:255-266.
- Angadi S., M. Entz. 2002. Root system and water use patterns of different height sunflower cultivars. Agron J. 94:136-145.
- Beare M., M. Cabrera, P. Hendrix, D. Coleman. 1994. Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional and no tillage soils. Soil Sci. Soc. Am.J. 58:787-795.
- Blum A. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. Field Crops Res. 112:119-123.
- Bossio D., K. Geheb, W. Critchle. 2010. Managing water by managing land: Addressing land degradation to improve water productivity and rural livelihoods. Agric. Water Manage. 97:536-542.
- Calvente A. 2007. El concepto moderno de sustentabilidad. Universidad Abierta Interamericana (uaisustentabilidad-gmail.com), 7pp.
- Cantú M., A. Becker, J. Bedano. 2008. Evaluación de la sustentabilidad ambiental en sistemas agropecuarios. UNRCuarto, 184pp.
- Copeland P., R. Allmaras, R. Crookston, W. Nelson. 1993. Corn-soybean rotation effects on soil water depletion. Agron. J. 85:203-210.
- Dordas C., C. Sioulas. 2007. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. Industrial Crops and Products 27:75-85.
- Fernández R., A. Quiroga, E. Noellemeyer, D. Funaro, J. Montoya, B. Hitzmann, N. Peinemann. 2008. A study of the effect of the interaction between site-specific conditions, residue cover and weed control on water storage during fallow. Agric. Water Manag. 95:1028-1040.
- Hatfield J., J. Prueger, T. Sauer. 1996. Comparison of evapotranspiration equations over different surfaces. In: Camp, C.R., Sadler, E.J. (Eds.) Proceedings of the Evapotranspiration and Irrigation Scheduling Conference ASAE, St. Joseph, MI, USA pp. 1065-1070.

- Kar G., R. Singh, H. Verma. 2003. Alternative cropping strategies for assured and efficient crop production in upland rainfed rice areas of eastern India based on rainfall analysis. Agric. Water Manage. 67:47-62.
- Lenssen A., G. Johnson, G. Carlson. 2006. Cropping sequence and tillage system influences annual crop production and water use in semiarid Montana, USA. Field Crop Res. 100:32-43.
- Moroke T., R. Schwartz, K. Brown, A. Juo. 2005. Soil water depletion and root distribution of three dryland crops. Soil Sci. Soc. Am. J. 69:197-205.
- Nielsen D., P. Unger, P. Miller. 2005. Efficient Water Use in Dryland Cropping Systems in the Great Plains. Agron. J. 97:364–372.
- Noellemeyer E., A. Quiroga, D. Estelrich. 2006. Soil quality in three range soils of the semi-arid Pampa of Argentina. Journal of Arid Environments 65:142-155.
- Pala M., J. Ryan, H. Zhang, M. Singh, H. Harris. 2007. Water-use efficiency of wheat-based rotation systems in a Mediterranean environment. Agric. Water Manage. 93:136-144.
- Quiroga A., D. Buschiazzo, N. Peinemann. 1998. Management of discriminant properties in semiarid soils. Soil Science 163 (7):591-597.
- Quiroga A., M. Díaz-Zorita, D. Buschiazzo. 2001. Safflower productivity as related to soil water storage and management practices in semiarid regions. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 32(17&18):2851-2862.
- Quiroga A., R. Fernández, D. Funaro, N. Peinemann. 2008. Materia orgánica en Molisoles de la región semiárida pampeana. Influencia sobre propiedades físicas y productividad. En Estudio de las Fracciones Orgánicas en Suelos de Argentina. AACS.
- Quiroga A., R. Fernández, E. Noellemeyer. 2009. Grazing effect on soil properties in conventional and no-till systems. Soil &Till. Res. 105:164-170.
- Quiroga A., D. Funaro, E. Noellemeyer, N. Peinemann. 2005b. Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. Soil & Till. Res. 90:63-68.
- Resch G. 2003. La sustentabilidad como contexto productivo. INTA Canals, 5pp.
- Ritchie J., B. Basso. 2008. Water use efficiency is not constant when crop water supply is adequate or fixed: the role of agronomic management. Eur. J. Agron. 28:273-281.
- Rockström J., M. Falkenmark. 2000. Semiarid crop production from a hydrological perspective: gap between potential and actual yields. Critical reviews in Plant Science 19:319-346.
- Rockström J. 2003. Water for food and nature in drought-prone tropics: vapour shift in rainfed agriculture. Royal Society Transactions B: Biological Sciences 358(1440):1997-2009.
- Saadras V., P. Calviño. 2001. Quantification of grain yield response to soil depth in soybean, maize, sunflower, and wheat. Agron. J. 93:577-583.
- Sarandon S.J. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En Agroecología, el camino hacia una agricultura sustentable. Cap. 20:393-414.
- Sarandon S.J., 1998. The development and use of sustainability indicators a need for organic agriculture evaluation. XII Intrern. Scietif. Conf., Mar del Plata.
- Tanaka D., J. Krupinsky, M. Liebig, S. Merrill, R. Ries, J. Hendrickson, H. Johnson, J. Hanson. 2002. Dynamic Cropping Systems: an adaptable approach to crop production in the Great Plains. Agron. J. 94:957-961.
- Velázquez E. 2010. Agua virtual, huella hídrica y el binomio agua-energía: repensando los conceptos. Dpto Economía, Univ. de Sevilla (evelalo@upo.es), 12pp.
- Wang X., K. Dai, Y. Wang, X. Zhang, Q. Zhao, X. Wu, D. Cai, W. Hoogmoed, O. Oenema. 2010. Nutrient management adaptation for dryland maize yields and water use efficiency to long-term rainfall variability in China. Agric. Water Manage. 97:1344-1350.
- Wright P., J. Morgan, R. Jessop, A. Cass. 1995. Comparative adaptation of canola (*Brassica napus*) and Indian mustard (*B. Juncea*) to soil water deficits: yield and yield components. Field Crop Res. 42:1-13.
- Zhang X., S. Chen, H. Sun, Y. Wang, L. Shao. 2010. Water use efficiency and associated traits in Winter wheat cultivars in the North China Plain. Agric. Water Manage. 97:1117-1125.